

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-219395

(43)Date of publication of application : 19.08.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

H01L 21/20

H01L 21/205

H01L 21/263

H01L 21/285

H01L 29/06

(21)Application number : 08-024978

(71)Applicant : NEC CORP  
HITACHI LTD

(22)Date of filing : 13.02.1996

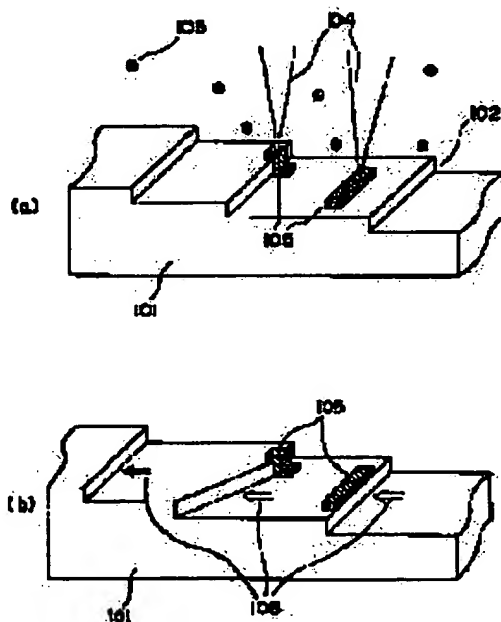
(72)Inventor : WATABE HEIJI  
ICHIKAWA MASAKAZU

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR SURFACE TREATMENT OF SEMICONDUCTOR SUBSTRATE, AND MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the flatness of the surface of a semiconductor substrate to the order of atoms and enable the manufacture of a semiconductor device utilizing semiconductor crystal growth on atomic steps on the surface of the semiconductor substrate.

**SOLUTION:** The method for surface treatment involves a different atom region forming process and an atomic step shifting process. In the different atom region forming process the surface of a semiconductor substrate 101 is irradiated with an electron beam 104 in an atmosphere where process gas 103 containing atoms different from those contained in the semiconductor substrate 101 is present. A surface excitation reaction is thereby caused to form different atom regions 105 containing different atoms in specified areas on the surface of the semiconductor substrate 101. In the atomic step shifting process, atomic steps 102 are shifted on the surface of the semiconductor substrate 101. During the atomic step shifting process, the movement of the atomic steps 102 is controlled by means of the different atom regions 105 to form the atomic steps 102 into a specified shape.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

13.02.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

2912214

[Date of registration]

09.04.1999

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of extinction of right]

# CITATION 2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-219395

(43) 公開日 平成9年(1997)8月19日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	P I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/3065			H 0 1 L 21/302	J
21/20			21/20	
21/205			21/205	
21/263			21/263	
21/285			21/285	C
審査請求 有 請求項の数12 O L (全 8 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平8-24978

(22) 出願日 平成8年(1996)2月13日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 渡部 平司

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 市川 昌和

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所内

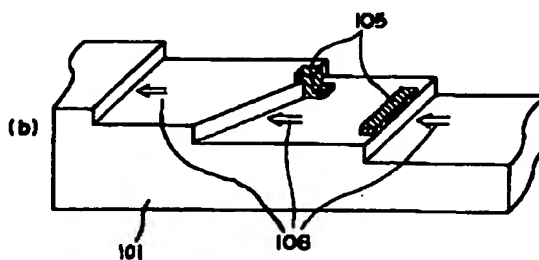
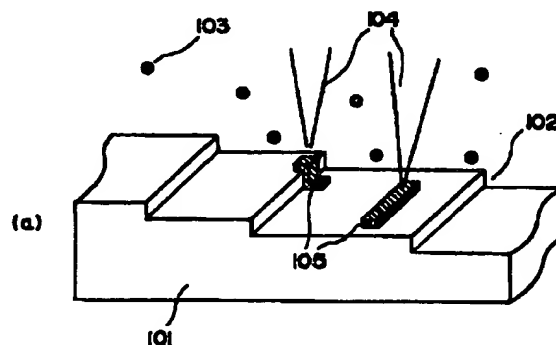
(74) 代理人 弁理士 後藤 洋介 (外2名)

(54) 【発明の名称】 半導体基板の表面処理方法、表面処理装置、並びに半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 半導体基板表面の平坦性を原子スケール程度にまで向上させたり、半導体基板表面の原子ステップ上での半導体結晶成長を利用した半導体装置の製造を可能にする半導体基板の表面処理方法を提供する。

【解決手段】 半導体基板101の構成原子とは異なる異種原子を含む処理用ガス103が存在する雰囲気中にて半導体基板101表面に対し電子ビーム104を照射して表面励起反応を起こし、異種原子を含む異種原子部105を半導体基板101表面の所定領域に形成する異種原子部形成工程と、半導体基板101表面での原子ステップ102を移動させる原子ステップ移動工程とを有し、原子ステップ移動工程の際に、原子ステップ102の動きを異種原子部105によって制御することにより、原子ステップ102を所定の形状に形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板の構成原子とは異なる異種原子を含む処理用ガスが存在する雰囲気中にて半導体基板表面に対し電子ビームを照射して表面励起反応を起こし、異種原子を含む異種原子部を半導体基板表面の所定領域に形成する異種原子部形成工程と、半導体基板表面での原子ステップを移動させる原子ステップ移動工程とを有し、前記原子ステップ移動工程の際に、原子ステップの動きを前記異種原子部によって制御することにより、原子ステップを所定の形状に形成することを特徴とする半導体基板の表面処理方法。

【請求項2】 処理室内にて予め残留しているカーボンを含むガスを、前記処理用ガスとして用いることを特徴とする請求項1に記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項3】 カーボンおよび高融点金属のうちの少なくとも一方を含むガスを、処理室内へ前記処理用ガスとして導入することを特徴とする請求項1または2に記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項4】 前記原子ステップ移動工程では、半導体基板を加熱処理することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項5】 前記原子ステップ移動工程では、半導体基板を加熱した状態で、低エネルギーのイオン照射を行うことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項6】 前記原子ステップ移動工程では、半導体基板を加熱した状態で、半導体基板の構成原子と化学的に反応するエッチャントを処理室内へ導入することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項7】 前記異種原子部形成工程にて原子ステップに対してそれぞれ平行に所定の長さに延びる対の異種原子部を所定の対向間隔をおいて形成した後、前記原子ステップ移動工程を経ることにより、半導体基板表面上の対の異種原子部間に平坦面を形成する請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項8】 前記異種原子部形成工程にて半導体基板上の仮想線上にて所定の並列間隔をおいて並ぶ複数の点状の異種原子部を形成した後、前記原子ステップ移動工程を経ることにより、半導体基板表面上にて前記仮想線に平行な原子ステップを形成する請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項9】 前記異種原子部形成工程にて原子ステップに対してそれぞれ平行に、かつ互いに所定の対向間隔をおいて延びる対の仮想線のそれぞれの上にて所定の並列間隔をおいて並ぶ複数の点状の異種原子部を形成した後、前記原子ステップ移動工程を経ることにより、半導体基板表面上の対の仮想線間に平坦面を形成する請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法。

【請求項10】 半導体基板に対して電子ビームを照射する集束電子線源と、前記処理用ガスを処理室内へ導入する処理用ガス供給機構と、半導体基板を加熱する基板加熱機構、半導体基板に対して低速イオンビーム照射するイオンビーム照射機構、および前記エッチャントを処理室内へ導入するエッチャント導入機構のうちのいずれかの機構とを有することを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法に用いる表面処理装置。

【請求項11】 光電子増倍管を備え、前記集束電子線源による電子線を半導体基板表面に所定の入射角でもって照射および走査し、回折された電子線の強度を前記光電子増倍管によりモニターすることにより、半導体基板上での原子ステップを観測する機能を有する請求項10に記載の表面処理装置。

【請求項12】 請求項1乃至9のいずれかに記載の半導体基板の表面処理方法によって処理された半導体基板を用い、所定の形状に形成された原子ステップ上にて半導体結晶の選択成長を行うことを特徴とする半導体装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体装置における半導体基板の表面処理方法に関し、特に、半導体基板表面の平坦性を原子スケール程度にまで向上させたり、半導体基板表面の原子ステップ上での半導体結晶成長を利用した半導体装置の製造を可能にするような半導体基板の表面処理方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体装置の集積化が著しく進み、各素子のサイズはサブミクロン領域に入っている。これに伴い、半導体基板表面の平坦性について、原子スケール程度にまで向上させる要求が高まっている。

【0003】 また、近年、ナノスケールの構造を有する種々の量子効果素子が提案されており、その基本動作が実証されている。ナノ構造素子の製造においては、半導体基板表面の原子スケールでの平坦性が要求されると共に、一部の素子製造においては、半導体基板表面上への結晶成長に際して原子ステップから選択的に成長が始まる現象を利用している例がある。このため、半導体基板表面の平坦性を確保すると共に、原子ステップの配置や形状を所望されるものにし得るように、原子ステップの移動を制御する技術が要求されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上述したように、原子レベルの半導体基板表面の凹凸が素子特性に重要な影響を及ぼす場合や、半導体基板表面における原子ステップでの結晶成長における特異性を利用した素子製造に際し、これらのことを実現し得るような半導体基板の表面処理方法、即ち、半導体基板表面の原子ステップの配列

の制御が要求されている。しかし、半導体基板表面の原子ステップの配列の制御は、一般に困難であるという実情にある。

【0005】本発明の課題は、半導体基板表面の平坦性を原子スケール程度にまで向上させたり、半導体基板表面の原子ステップ上での半導体結晶成長を利用した半導体装置の製造を可能にするような半導体基板の表面処理方法を提供することである。

【0006】本発明の他の課題は、上記表面処理方法に用いる表面処理装置を提供することである。

【0007】本発明のさらに他の課題は、上記表面処理方法によって処理された半導体基板を用いた半導体装置の製造方法を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、半導体基板の構成原子とは異なる異種原子を含む処理用ガスが存在する雰囲気中にて半導体基板表面に対し電子ビームを照射して表面励起反応を起こし、異種原子を含む異種原子部を半導体基板表面の所定領域に形成する異種原子部形成工程と、半導体基板表面での原子ステップを移動させる原子ステップ移動工程とを有し、前記原子ステップ移動工程の際に、原子ステップの動きを前記異種原子部によって制御することにより、原子ステップを所定の形状に形成することを特徴とする半導体基板の表面処理方法が得られる。

【0009】本発明によればまた、半導体基板に対して電子ビームを照射する集束電子線源と、前記処理用ガスを処理室内へ導入する処理用ガス供給機構と、半導体基板を加熱する基板加熱機構、半導体基板に対して低速イオンビーム照射するイオンビーム照射機構、および前記エッチャントを処理室内へ導入するエッチャント導入機構のうちのいずれかの機構とを有することを特徴とする前記半導体基板の表面処理方法に用いる表面処理装置が得られる。

【0010】本発明によればさらに、前記半導体基板の表面処理方法によって処理された半導体基板を用い、所定の形状に形成された原子ステップ上にて半導体結晶の選択成長を行うことを特徴とする半導体装置の製造方法が得られる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。

【0012】まず、本発明による半導体基板の表面処理方法の概要を、図1(a)および(b)を参照して説明する。

【0013】図1(a)において、半導体基板101の構成原子とは異なる異種原子を含む処理用ガス103が存在する雰囲気中にて、原子ステップ102が配列している半導体基板101表面に対し、電子ビーム104を照射して表面励起反応を起こし、異種原子を含む異種原

子部(堆積層)105を半導体基板101表面の所定領域に形成する(異種原子部形成工程)。

【0014】続いて、図1(b)において、半導体基板101表面での原子ステップを、図中矢印106で示すごとく移動させる(原子ステップ移動工程)。この原子ステップ移動工程の際に、原子ステップの動きを異種原子部105によって制御することにより、原子ステップを所定の形状に形成する。即ち、半導体基板101を加熱する等により、半導体基板101表面上の原子ステップを移動させる際に、異種原子部105の領域では原子ステップの動きが妨げられ、この領域で所謂ピン止め現象が起こる。

【0015】ここで、図1(a)に示した異種原子部形成工程において、電子線104を走査することにより異種原子部105をパターンニングすれば、所望の原子ステップの配列を実現することができる。また、上述の表面処理方法により得た半導体基板を用い、所望の形状に形成した原子ステップを用いた選択成長により、半導体装置を製造することが可能である。

【0016】異種原子部形成工程においては、各種半導体から成る半導体基板101表面へ電子ビーム104を照射した際に、電子ビーム104が当たった領域のみで、表面反応が励起される。ここで、半導体基板101が設置されている処理室(真空槽)内に堆積性の反応ガスが存在するときには、半導体基板101表面に薄膜が形成される。その一例として、処理室内に予め残留しているハイドロカーボン分子を処理用ガスとして利用し、半導体基板101上の電子ビーム104が照射された領域にのみ、カーボン膜の堆積が起きることを確認している。また、これらの堆積反応は、意図的に処理用ガスとして処理室内に導入しても可能である。

【0017】電子ビーム104により半導体基板101表面に堆積する異種原子部105の材料としては、それ自身が化学的に安定であり、半導体基板101の構成原子と強固に結合するものが好ましい。このように異種原子部105の材料を選定すれば、半導体基板101を融解温度近くまで加熱した際に、半導体基板101の構成原子が表面拡散または一部昇華反応を起こす条件では、原子ステップ移動工程において、原子ステップの動きが上述した異種原子部105により妨げられる。そして、電子ビーム104を走査して必要な領域に異種原子部105を配列して形成することで、原子ステップの配置形状を所望されるものに形成することができる。例えば、半導体基板101の一材料例であるシリコンは、カーボンと結合した際に化学的に非常に安定で、それ自身高融点の物質であるシリコンカーバイドを形成する。よって、シリコン半導体基板101表面に上述した電子線励起表面反応で、異種原子部105としてカーボンを堆積させたとき、界面層に形成されるシリコンとカーボンとの結合がシリコンの融解温度においても安定であるため

に、効果的に原子ステップの移動を妨げる効果を持つ。

【0018】尚、異種原子部105でもって、原子ステップの移動を妨げる役割を果たすためには、異種原子部105の形成厚さ（堆積の層数）は、表面数原子層で十分である。つまり、電子線励起反応により原子層オーダーの厚さを有する異種原子部105（または表面の異種原子による修飾）を用いるため、電子ビーム104による堆積反応の所要時間は極めて短時間でよい。

【0019】また、異種原子部形成工程における処理用ガス103としては、処理室中に残留したハイドロカーボンを用いる以外にも、処理室中にスチレンなどのカーボンを含む処理用ガスを導入することで、堆積反応の速度を早めることができる。さらに、異種原子部105を構成する材料として、カーボンの他にも各種の高融点金属などを用いることが可能であり、この際には処理用ガスとしてこれらの金属を含む有機金属分子が有効である。尚、処理用ガス103を導入する手法において、処理室中に残留したハイドロカーボンの存在が懸念されるが、導入ガスがカーボン系である場合には勿論問題はないし、導入ガスが高融点金属等を含むカーボン系ではない場合であっても、残留カーボンの量（例えば、処理室内の設定真空度は $1 \times 10^{-10}$  Torr程度）と導入ガスの量（例えば、導入圧は $1 \times 10^{-7}$  Torr程度）とは大きくかけはなれているので、特に悪影響はないと考えられる。

【0020】原子ステップ移動工程をなす手段として、上述したように半導体基板101を処理室（真空槽）内において融解温度付近まで加熱すると、表面原子の拡散反応および一部昇華反応が起きる結果、原子ステップが移動する。原子ステップ移動工程をなすためには、半導体基板101の融解温度付近よりも低い温度ではあるものの、表面原子が熱的に拡散可能な条件において、半導体基板101の表面原子を引抜いて原子の存在しない領域（空孔）を形成し、この空孔が表面原子の拡散により埋められていく手段としてもよい。半導体基板101の表面原子を引き抜く手段としては、低速イオンビーム照射によるスパッタリング反応や、半導体基板101と化学的に反応する各種のエッチング用の反応ガスを真空層内に導入することなどがある。

【0021】低速イオンビームによるスパッタリングにおいては、入射したイオンは半導体基板101表面の極限られた構成原子と衝突を起こして、スパッタリング過程により原子を取り除く。これにより、スパッタリング後の半導体基板101表面には大きな損傷は残らず、表面原子の表面拡散現象により、空孔が順次埋められる過程で原子ステップが移動する。

【0022】また、半導体基板101を昇温して真空層内にエッチャント（半導体基板の構成原子と化学的に反応するエッチングガス）を導入して、半導体基板101材料をエッチングする手段においては、電子ビーム104

4で形成した異種原子部105が、エッチャントに対して耐性を有しているならば、ガスエッチング過程中的原子ステップの動きが異種原子部105の存在によって制御される。

【0023】本発明による半導体基板の表面処理方法に用いる表面処理装置には、各工程の実現手段等に応じ、以下に示す①～⑤の機能が要求される。

【0024】① 試料（半導体基板101）の清浄表面を保つことが可能な超高真空槽（処理室）である。

【0025】② 半導体基板101の加熱が可能である。ここで、原子ステップの移動を試料の加熱のみによって行う場合には、用いる試料の融点付近までの加熱が必要である。また、イオン照射やガスエッチングにより原子ステップを移動させるときには、半導体基板101の表面原子の拡散が容易に起きる温度域まで加熱できることが必要である。

【0026】③ 半導体基板101表面に異種原子部105を形成するための電子銃を有する。この電子銃に要求される機能としては、半導体基板101表面の所望の領域に電子線を照射するため、集束電子線（電子ビーム104）を発生すると共に、これを走査およびブランキングできることが必要である。

【0027】④ 異種原子部105の材料として、真空槽中の残留カーボン以外を用いる場合には、この真空槽に処理用ガスを導入するための機能を有することが必要である。

【0028】⑤ 原子ステップの移動を低エネルギーイオンビーム照射を用いて行う場合には、数百eV以下のエネルギーの希ガスイオン（アルゴンやキセノン）を発生可能なイオンビーム照射機能を有することが必要である。

【0029】⑥ 原子ステップの移動をエッチャントによる半導体基板101表面のガスエッチング反応により行う場合には、エッチャントの導入機構を有することが必要である。

【0030】また、これらの機能に加えて、走査反射電子顕微鏡などに代表される半導体基板の表面を観察する手段を備えることにより、原子ステップのその場観察が可能になり、本表面処理方法における工程中に移動する原子ステップの配列を確認しながら、処理を進めることができる。

【0031】以上説明したように、本発明による半導体基板の表面処理方法によれば、半導体基板上の原子ステップの動きを制御して、原子ステップを所定の形状（配列）に形成できる。さて、本表面処理方法によって処理された半導体基板を用い、所定の形状に形成された原子ステップ上にて、半導体結晶の選択成長を行うことが可能である。製造可能な半導体装置の例としては、原子ステップ上での選択成長を利用した量子細線の製造があげられる。これは、分子線エピタキシーなどの結晶成長に際して、半導体基板上の原子ステップに、飛来した原子が

選択的に取り込まれる現象を利用するものである。そして、原子ステップに沿って異種材料が成長し（ヘテロエピタキシー）、これを半導体基板と同原子の成長により埋め込むことにより行われる。量子細線の製造においては、半導体基板表面の原子ステップの配置、例えば、隣り合う原子ステップの間隔を制御する必要があるが、本発明によれば、それを実現できる。そして、得られた半導体装置の性能は高いものである。

#### 【0032】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例による半導体基板の表面処理方法を説明する。

【0033】図2は、本実施例による半導体基板の表面処理方法に用いる表面処理装置を示す概略図である。図2において、本表面処理装置は、ターボ分子ポンプ201で排気され、到達真空度 $1 \times 10^{-10}$  Torrの超高真空槽202を基本としている。超高真空槽202には、電子線励起反応のための集束電子線を発生させるための電子銃203が備わっており、電子線の走査およびブランキングが可能である。試料ステージ204は、これに備えられたセラミックヒータ205と試料裏面からの電子衝撃加熱とにより、シリコン半導体基板207を最高1200℃まで昇温できる。超高真空槽202にはまた、2系統のガス導入機構208および209があり、カーボン異種原子部を形成するための処理用ガスとしてのスチレンガス210、およびエッチャントガスとしてのフッ素ガス211の導入が可能である。また、超高真空槽202には、500 eVの低エネルギーアルゴンイオンビームをシリコン半導体基板207に照射可能なイオン銃212が取り付けられている。シリコン半導体基板207は、試料導入室213を介して超高真空に保たれた超高真空槽202内に導入される。さらに、本装置は、原子ステップを観測可能な顕微鏡（走査反射電子顕微鏡）としての機能を有している。即ち、この機能は、表面反応の励起のための集束電子線をシリコン半導体基板207表面に入射角3度で照射しつつ、回折された電子線の強度を光電子増倍管214によりモニターしながら、電子線を試料表面上で走査することで、原子ステップを観測可能な機能であり、表面処理前後での原子ステップの配列を確認することができる。

【0034】次に、本実施例による半導体基板の表面処理方法を具体的に説明する。

【0035】まず、面方位（111）のシリコン半導体基板207をフッ酸処理した後、表面処理装置の試料導入室213にセットし、ターボ分子ポンプ201によって排気を十分に行ってから超高真空槽202内へ搬送した。

【0036】シリコン半導体基板207表面の清浄化は、超高真空槽202内を超高真空に保ったままシリコン半導体基板207を1200℃で10秒間加熱することにより行った。このシリコン半導体基板207表面

は、電子線回折による構造解析の結果、清浄なシリコン（111）表面特有の再配列構造を有することを確認した。しかしながら、表面清浄化後であっても、表面の原子ステップの配列は、微少な面方位からの傾きやシリコン半導体基板207上の不純物の存在、ならびにシリコン半導体基板207加熱時の温度勾配などの様々な要因により、その配列が乱されており、必ずしも以後の半導体装置の製造において好ましい配列ではないことが、上述した走査反射電子顕微鏡による観察で確認された。

【0037】この半導体基板207表面に、電子銃203による集束電子線を用いてカーボン異種原子部の形成を行った。電子線の加速電圧、ビーム電流、およびビーム径はそれぞれ、30 kV、0.2 nA、および5 nmとした。電子線励起表面反応によるカーボン異種原子部の形成において、超高真空槽202中の残留ガス（ハイドロカーボン）を用いる場合は、集束電子線を同一の領域に10秒間照射する。

【0038】尚、処理用ガスとしてスチレンガス210をガス導入機構208を通して超高真空槽202内に $1 \times 10^{-7}$  Torrの分圧で導入する場合には、1秒以下の短い照射時間で、シリコン半導体基板207表面に数原子層から成るカーボン異種原子部（カーボン堆積膜）を形成できる。また、さらに他の処理用ガスを導入する場合でも、同様の堆積反応が生じる。例えば、六フッ化タングステンガスを用い、高融点金属であるタングステンから成る異種原子部を形成することができる。

【0039】異種原子部を形成する領域は、要求される原子ステップの形状（配置）により決まる。以下、シリコン半導体基板の清浄表面において、以下の2種類の原子ステップの形状例（第1、第2のケース）を満たすべく、表面処理を行った。

【0040】[第1のケース] 後の半導体装置の製造において、半導体装置を製造すべき半導体基板表面が、原子レベルで平坦であることが要求される場合。

【0041】[第2のケース] 後の半導体装置の製造において、半導体装置を製造すべき半導体基板表面に、所望の間隔で規則正しく原子ステップが配列することが要求される場合。尚、この場合には、各原子ステップの領域広さが通常第1のケースの平坦面よりも小さいので、半導体基板材料とは異なる異種原子部の存在が後の結晶成長に影響することが懸念される。よって、異種原子部は後述するように可及的狭面積で、かつ結晶成長を行う領域から離して形成するようにする。

【0042】第1のケースでは、図3（a）に示すように、半導体基板207上の半導体装置を製造しようとする5 μm幅の領域から、原子ステップ301を排除すべく（実際には、5 μm幅の1つの原子ステップを形成すべく）、カーボン異種原子部302を形成し、図3（b）に示すように、5 μm幅の1つの原子ステップによる領域303を形成した。

【0043】また、第2のケースでは、図4(a)に示すように、半導体基板207'上に異種原子部402を1 $\mu$ m間隔で1対ずつ形成し、図4(b)に示すように、各原子ステップ401を1 $\mu$ m間隔で規則正しく配列した。尚、第2のケースにおいて、異種原子部402を1 $\mu$ m間隔で1対ずつ形成するのみで、比較的長い幅の原子ステップ401の動きを止められるのは、原子ステップ移動の特性による。ただし、この特性による作用は、各異種原子部402の領域広さにもよるが、対の異種原子部402間の間隔が1 $\mu$ m程度以下の場合に好ましく作用し、これよりも著しく大きい間隔では作用しにくいようである。

【0044】さて、本実施例において、原子ステップ移動工程は、図2に示した表面処理装置を用い、以下に示す手法①～③のいずれかによって行える。

【0045】① シリコン半導体基板207(207')を、試料ステージ204に備えられたセラミックヒータ205および電子衝撃加熱により、1100℃で30秒間加熱することで、半導体基板207表面上の原子ステップにあるシリコン原子をキンクサイトから順次蒸発させ、原子ステップを後退する方向に移動させる。

【0046】② シリコン半導体基板207(207')の温度をセラミックヒータ205および電子衝撃加熱により750℃として、イオン銃212により500eVの低エネルギーアルゴンイオンビームを照射することにより、半導体基板207表面上に空孔を形成し、表面原子の表面拡散現象により空孔が順次埋められる過程で原子ステップを後退する方向に移動させる。

【0047】③ シリコン半導体基板207(207')の温度をセラミックヒータ205および電子衝撃加熱により750℃として、超高真空槽202内にエッチャントガスであるフッ素ガス211をガス導入機構209を通して $1 \times 10^{-8}$ Torrの分圧で導入することで、ガスエッチングを行う。このとき、原子ステップが化学的に不安定であることから、原子ステップでのエッチング反応が選択的に進行すると共に、その他の領域で起きたエッチング反応で形成された空孔は上述のイオンビーム照射の手法②と同様に、表面拡散で原子ステップに到達する。よって、結果的に上記手法①、②と同様に、原子ステップを後退する方向に移動させることができる。

【0048】原子ステップ移動工程を経て得られたシリコン半導体基板207表面の原子ステップの配列を前述の走査反射電子顕微鏡で観察したところ、カーボン異種原子部によって原子ステップの動きが制御されているので、例えば、図3(b)、図4(b)に示したように、所望の原子ステップの配置が得られていた。

【0049】以上説明した本実施例による半導体基板の表面処理方法によって処理された半導体基板を用い、半導体装置を製造するに際しては、半導体装置を製造するための製造装置を図2に示した表面処理装置に対し真空

槽を介して接続するか、あるいは、表面処理装置と製造装置とを個別に設置し、真空の維持が可能な搬送カセットに半導体基板を収容した状態で装置間を移送するようにする。

#### 【0050】

【発明の効果】本発明による半導体基板の表面処理方法は、半導体基板の構成原子とは異なる異種原子を含む処理用ガスが存在する雰囲気中にて半導体基板表面に対し電子ビームを照射して表面励起反応を起こし、異種原子を含む異種原子部を半導体基板表面の所定領域に形成する異種原子部形成工程と、半導体基板表面での原子ステップを移動させる原子ステップ移動工程とを有し、前記原子ステップ移動工程の際に、原子ステップの動きを異種原子部によって制御することにより、原子ステップを所定の形状に形成するため、半導体基板表面の平坦性を原子スケール程度にまで向上させたり、半導体基板表面の原子ステップ上での半導体結晶成長を利用した半導体装置の製造が可能になる。また、本表面処理方法において、異種原子部は数原子層形成すれば十分にその効果を奏するので、処理時間が極めて短く、半導体装置の製造工程全体も長時間化することがない。

【0051】また、本発明による表面処理装置は、光電子増倍管を備え、集束電子線源による電子線を半導体基板表面に所定の入射角でもって照射および走査し、回折された電子線の強度を光電子増倍管によりモニターすることにより、半導体基板上での原子ステップを観測する機能を有するため、原子ステップの状態を確認しながら、精密かつ効率的な表面処理を行える。

【0052】さらに、本表面処理方法により処理された半導体基板を用いた半導体装置の製造方法によれば、特に、原子レベルでの半導体基板の凹凸が素子特性を決定するような場合において、その特性を向上させることが可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)および(b)共に、本発明の実施の形態による半導体基板の表面処理方法を説明するための図である。

【図2】本発明の実施例による半導体基板の表面処理方法に用いる表面処理装置を示す概略図である。

【図3】(a)および(b)共に、本発明の一実施例による半導体基板の表面処理方法を説明するための図である。

【図4】(a)および(b)共に、本発明の他の実施例による半導体基板の表面処理方法を説明するための図である。

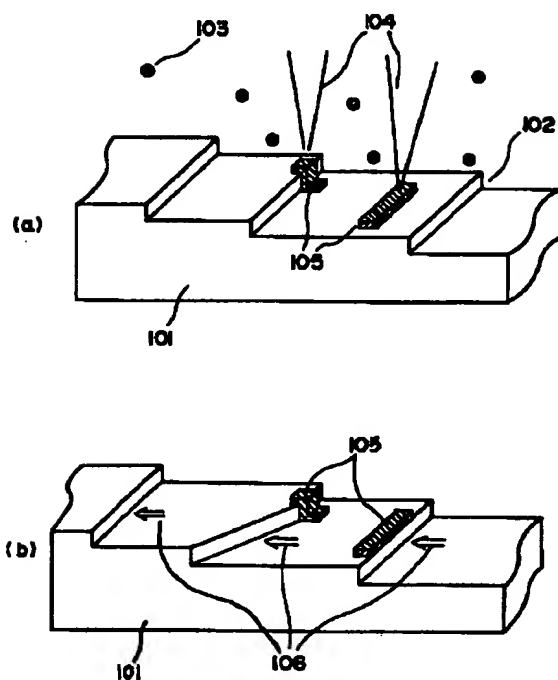
#### 【符号の説明】

- 101 半導体基板
- 102 原子ステップ
- 103 処理用ガス
- 104 電子線

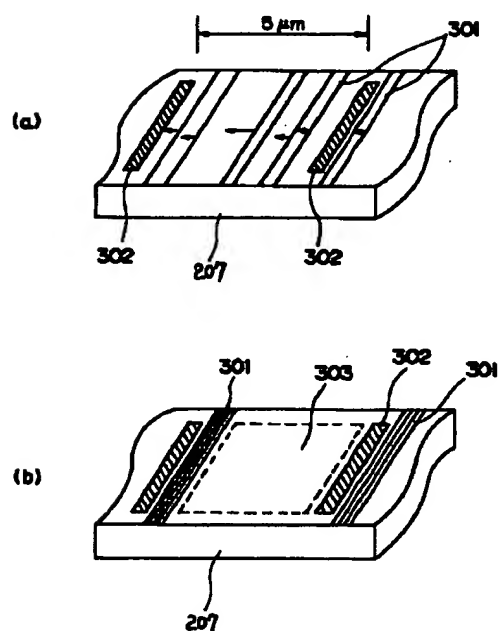
105 異種原子部  
 201 ターボ分子ポンプ  
 202 超高真空槽  
 203 電子銃  
 204 試料ステージ  
 205 セラミックヒータ  
 207, 207' シリコン半導体基板  
 208, 209 ガス導入機構

210 スチレンガス  
 211 フッ素ガス  
 212 イオン銃  
 213 試料導入室  
 214 光電子増倍管  
 301, 401 原子ステップ  
 302, 402 カarbon異種原子部

【図1】

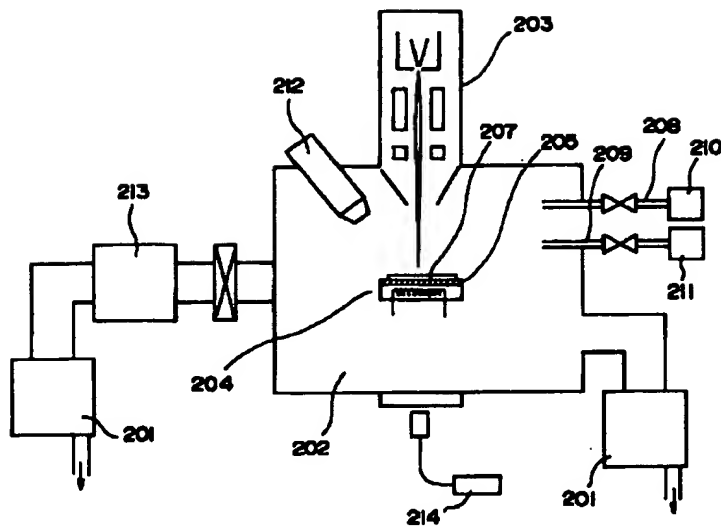


【図3】

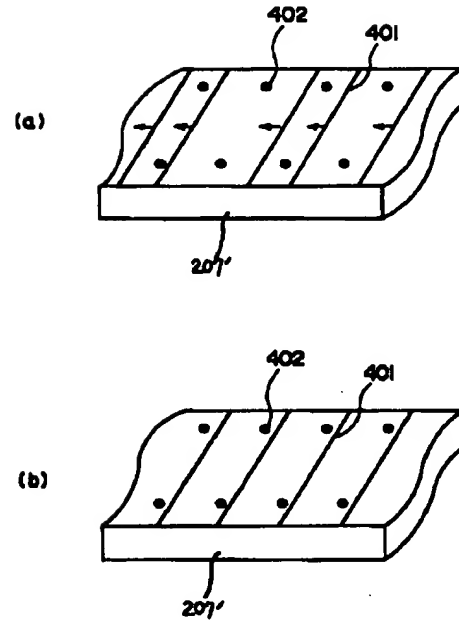




【図2】



【図4】



【手続補正書】

【提出日】平成8年2月15日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】 半導体基板の表面処理方法、表面処理装置、並びに半導体装置の製造方法

フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>  
H01L 29/06

識別記号 庁内整理番号

FI  
H01L 29/06

技術表示箇所